

案例 1

石化盈科信息技术有限责任公司

基于数字孪生的石化工业互联网

综合应用案例

——石油和化工工业互联网平台

ProMACE 创新应用

石化盈科信息技术有限责任公司（以下简称石化盈科）成立于 2002 年，是能源化工行业唯一一家全产业链解决方案和产品提供商，为国家规划布局内重点软件企业，连续多年跻身中国软件收入百强企业前 50 名。依托中国石化信息化建设实践，石化盈科已经构建起从咨询、设计研发到交付和运维的完整 IT 服务价值链，形成了经营管理、智能制造、智能物流、新一代电子商务、云计算和大数据五大核心业务。

石化盈科打造的面向石油和化工行业的工业互联网平台 ProMACE，是新一代信息通信技术与实体经济深度融合的基础设施，是支撑流程型智慧企业研发设计、生产制



造、供应链管理、营销服务各业务环节的核心载体；是信息物理系统（CPS）在石油和化工行业的具体实现；是流程制造数字化、网络化、智能化的关键引擎。

一、基于数字孪生的创新应用

基于数字孪生的工业互联网应用，融合了十多年石化行业经验与认知，将数字孪生技术沉淀于工业互联网平台，通过构建以资产模型、工厂模型、机理模型、工业大数据模型、工业专家知识库为核心的数字孪生体，支撑典型智能应用，为石油和化工行业的数字化转型发展提供新动能。

1. 石化行业新形势新要求

石化工业作为国民经济的重要基础和支柱产业，为国民经济的快速发展做出了重要贡献。经过多年发展，我国的炼油加工能力、化学品生产能力已居世界第一。但同时也面临结构产能过剩、环保要求、安全要求、成本上升、人才流失、核心技术亟需国产化等压力或挑战。

在这样的发展趋势下，企业仅靠传统的控制和管理方法已经适应不了新形势下生产的需要，必须依靠信息化建设的引领作用，两化深度融合，走新型工业化道路。基于数字孪生的石化工业互联网创新应用，正是石化盈科在提升用户竞争力、顺应时代发展、响应国家战略行动中形成的重要成果。

2. 数字孪生的三个要素

石化盈科通过信息技术与石化业务深度融合，依托石化行业的工业互联网平台“赋能、赋值、赋智”，实现工业知识、模型和经验的承载和推广，提供智能化转型“核心驱动引擎”。其中，数字孪生体是核心，对石化工业进行可视化模型化描述。运行支撑环境是基础，通过工业物联接入、工业数据湖和工业实时优化计算为数字孪生提供泛在感知、数据分类存储和实时计算的环境。典型智能应用是关键，服务于最终用户，实现企业的节能降耗、降本增效。

3. 创新应用价值实现

建立基于数字孪生的石化工厂多维度、全方位模型，提供数字孪生核心组件和应用，打造以资产、物流为核心的业务新模式，实现企业数字化、网络化、智能化转型。通过优化生产过程，降本增效；通过转变管控模式，提升管理效率；

通过监控优化设备性能，保障安稳长满优；全面提升客户价值，帮助客户取胜新形势下的市场竞争。

二、从构架到落地的实现路径

1. 基于数字孪生的应用架构

基于数字孪生的石化工业互联网综合应用案例依托石油和化工工业互联网平台 ProMACE，由石化工业数字孪生体、运行环境和典型智能应用三部分组成。

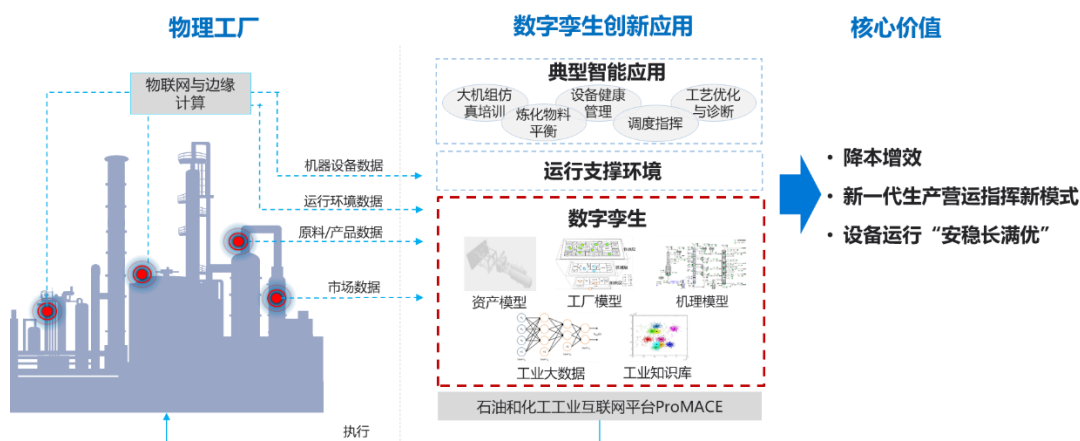


图 1 基于数字孪生的总体架构

(1) 石化工业数字孪生体

全厂数字孪生模型是立足于 ProMACE 工业互联网平台，利用数字孪生建模工具集构建。

1) 资产模型描述炼化企业的物理资产

描述石化工厂中物理资产的功能位置、机械特性、工艺特性、物理组成等本体数据和活动记录。对企业重点装置进行工程级和仿真级三维建模，对重点设备建立可拆解的工程级模型。

2) 工厂模型描述石化工业的业务管理实体

将资产模型进行组态，形成适应多业务场景的工厂信息化模型。将工厂按层次划分为组织层、区域层和节点层。

3) 机理模型描述生产反应及运行过程

根据严格的“三传一反”工艺机理模型，使用流程模拟工具，对设备以及生产过程，包括反应、精馏、吸收、萃取、换热、结晶等，根据所给过程的条件，对相应过程进行物料平衡、能量平衡、相平衡及化学平衡的计算，发掘生产潜能，从而指导科研、设计、生产等工作。

4) 工业大数据模型描述生产企业数据统计规律

构建大数据分析模型，支撑装置收率预测、质量预测、操作工艺点预警预测等。数据统计模型通常有底层的通用算法和业务规则构成比较复杂的分析模型。

5) 工业知识库沉淀行业规则、经验和案例

将设备、物料、工艺、操作、质量、能源、环保、安全、应急等石化行业各业务域的行业知识、案例通过平台进行沉淀，形成石化行业知识库，形成知识即服务体系，为工业应用提供知识和算法支撑。

(2) 数字孪生运行支撑环境

1) 工业物联接入

通过工业物联接入服务，实现对工厂设备设施的泛在感知，实现现场数据的采集、接收、集成、转换，准确描述现场实际物理情况。

2) 工业数据湖

通过工业数据湖构建工厂数据中台，将资产模型、工厂模型、工业物联、实时优化等能力在数据层面有机的结合起来，是面向工业数据存储和分析的服务工具。

3) 实时优化计算

以工艺机理模型为核心，将设备和装置生产运行数据（实时数据、化验数据、设备台账等）送入模型模拟计算，得到设备、装置的优化结果，辅助企业对装置运行参数做出优化调整。

2. 应用场景和应用模式

(1) 大机组仿真培训

基于数字孪生资产模型的大型机组仿真培训与互操作，提升用户检维修和操作机组技能。包含机组结构原理培训、机组检维修培训、机组试车培训、机组操作培训、日常维护培训和异常处置培训六个功能模块，并设置课程中心，通过课

程管理进行课程设置和考核编辑。

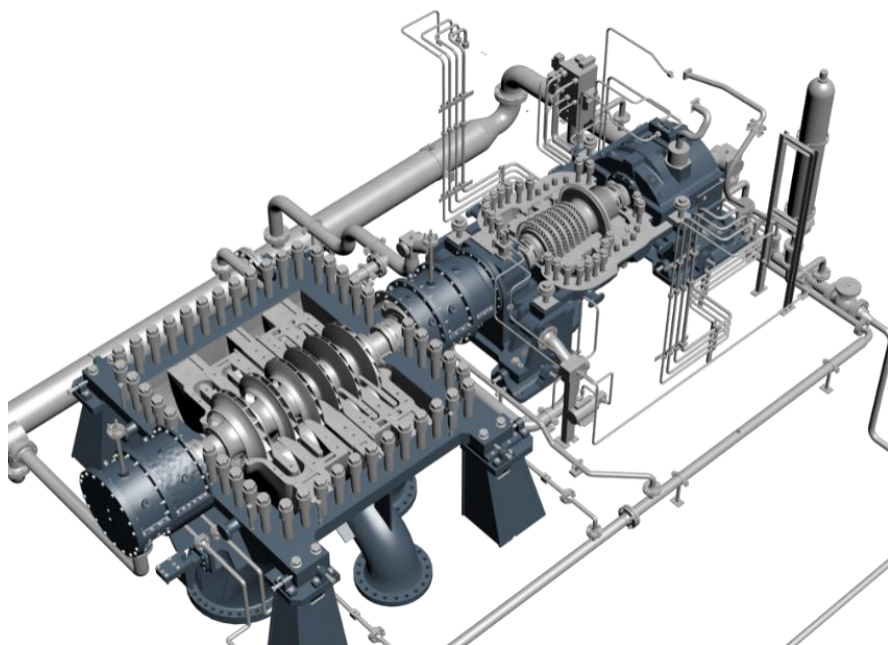


图 2 压缩机剖切模型

(2) 设备健康管理

基于数字孪生工业大数据模型的大型工业设备健康管理，帮助企业实现动设备预防性维修，减少非计划停工。包括：运行管理与预警、在线运行分析、故障诊断与预测和腐蚀评估与预测。

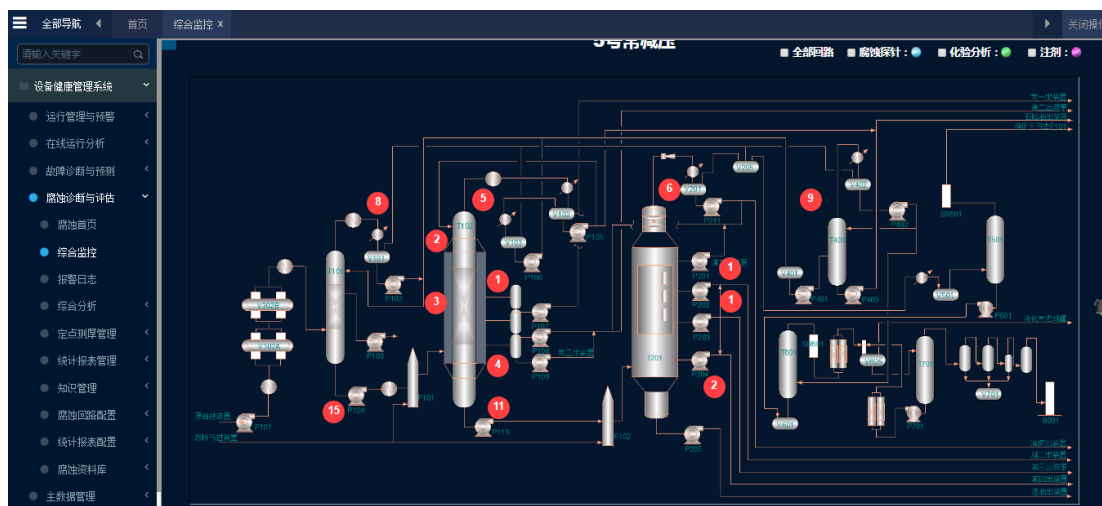


图 3 腐蚀诊断与评估

(3) 工艺优化与诊断

基于机理模型、工业知识库和工业大数据模型的工艺机理模型，可以对生产过程的运行状态进行实时监控、分析、预警和评价，通过软仪表、工况分析与诊断、系统优化等应用，分析生产瓶颈，深挖工艺潜力，以市场为导向，指导企业降低生产成本，增产高附加值产品，提高企业整体经济效益。

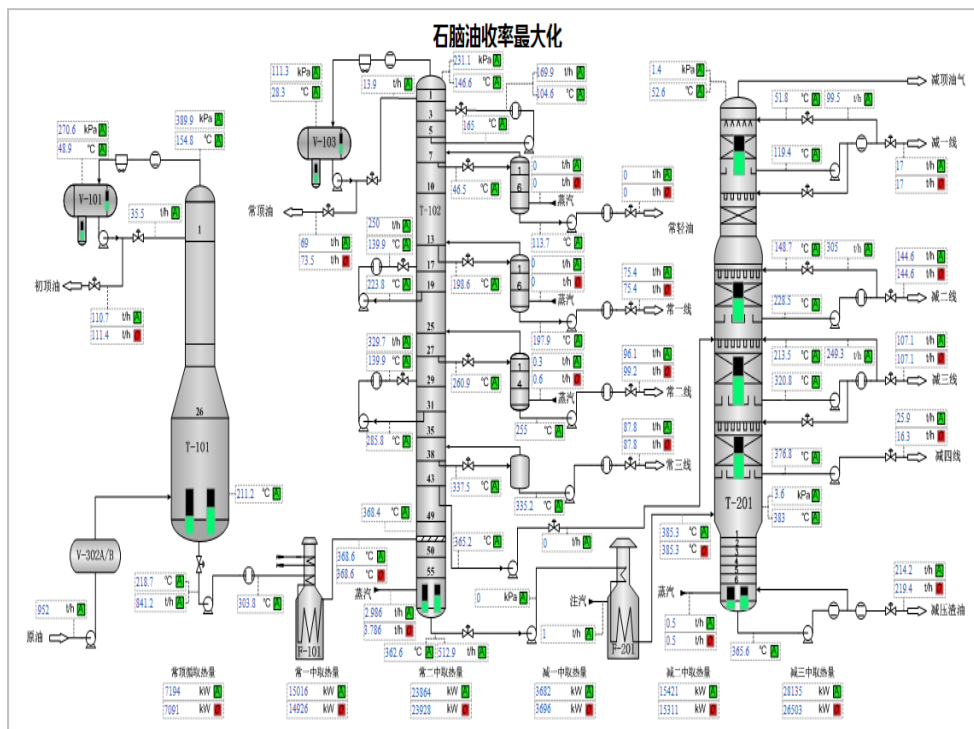


图 4 工艺过程实时优化

(4) 炼化物料平衡

基于工厂模型、工业知识库的物料平衡，实现生产全流程、全天候物流跟踪，实时发现问题，提升运营精细化水平。主要包括物料移动、物料平衡、统计平衡、指令执行、业务流程自动化、岗位工作台六大模块。确保企业指令从下达到现场作业信息感知及反馈均有线上管理手段支撑；对装置、罐区、进出厂、仓储的批次管理提升对物流量、质跟踪追溯的能力；实现多系统岗位工作统一管理。



图 5 全厂物料平衡

(5) 调度指挥

基于工业知识库，实现调度指挥在线闭环。提升协同指挥效率，提高科学决策水平。支撑全厂调度指挥应用，实现基于管理知识的调度智能化。生产监控为运行、进出厂、罐区、物料平衡等敏感环节提供高效监控工具。预警告警为运行人员提供生产报警、生产预警、智能处理等信息。基于调度指令生成规则，对调度指令的编制、审核、发布、执行与反馈过程实现在线闭环管理。



图 6 调度指挥平台

三、实现价值，开拓创新

1. 实施效果

(1) 大机组仿真的应用

实现了压缩机、汽轮机、干气密封和润滑油系统机组模型以及配套场景的三维可视化建模，各个机组的培训课程设计及拆装展示与培训。并实现了 PC 和移动端多平台的仿真培训模式，使新员工操作知识和技能得到快速、大幅提高，从而提高培训效率，提升了员工培训质量和效果，减少了员工学习时间和培训成本。

(2) 设备健康管理的应用

通过实施强化了设备运行状态感知、监测和管理，提升了设备健康运行水平，使各级设备管理部门实时准确的了解当前的设备运行状态，提升设备异常状态预警和处置能力。引入模型和数据分析工具，评估设备运行状态，优化现场操作，降低设备运行风险，支撑装置长周期运行。通过预测故障，提前进行计划维修，降低事故发生概率，避免非计划停车。

(3) 工艺优化与诊断的应用

提供生产装置优化解决方案，对生产过程的操作方案、工艺技术参数、装置潜力和瓶颈等进行经常性的定量分析和诊断，优化装置生产操作。把原油调合成套装备与原油近红外快评工具、原油加工优化软件深度融合，实现了对近百余种原油配方优化和组分的精确控制，原料组分稳定可控，确保了常减压装置平稳经济控制。同时，将大数据分析 with 机理分析相结合，对生产数据、石脑油原料进行分析建模，建立操作样本库，指导工艺参数优化。通过机理模型验证后，提高汽油收率和辛烷值，增效显著。

(4) 物料平衡的应用

覆盖生产装置、罐区、码头、仓储、进出厂、生产调度、生产统计、计量等生产管理业务，向下对接实时数据库和 LIMS，向上为 ERP 系统提供及时、准确和完整的生产物料数据，实现生产物流全流程管控。提升生产业务规范化水平，规范装置、罐区、统计等业务管理流程，固化并形成标准业务流程。实现了从原料进厂到产品出厂的全过程跟踪和精细化管理。支撑生产统计月结提速，实现“日平衡、旬确认、月结算”。

(5) 调度指挥的应用

实现调度自上而下、物料移动自下而上的业务流程自动化；创新物料统计平

衡模式，实现班组、调度、统计数出一门。整覆盖全公司生产业务调度指令流转体系，将日计划转化为调度指令，实现指令从公司级调度、储运/港储调度、内操、外操的在线闭环管理，调度指令与物料移动实时同步、业务联动。在人员数量不变的情况下，使指令执行效率显著提高，实现新型减员增效。

2. 经济效益与社会效益

石化数字孪生应用在中国石化下属 4 家智能工厂试点企业投用，并向大型炼化企业、民营企业推广。4 家试点企业累计增效超过 29 亿元（其中与数字孪生应用相关经济效益为 4.9 亿元/年），3 家企业被评为国家智能制造试点示范，2 家企业被评为国家首批绿色示范工厂。

ProMACE 的创新应用为我国石化企业树立一个面向工业互联网的数字孪生应用的模板和标杆，还可为各类智能工厂所涵盖的智能化技术提供应用示范平台。建设石化数字孪生应用，具有示范性及代表性，符合国家“制造强国”战略的核心内容，打造数字化、网络化、智能化的新名片，实现产业引领。建设过程中沉淀大量生产控制和过程数据，利用大数据、人工智能等工具进行分析和试验，促进了优化和控制模型的产生和验证，帮助企业快速获取行业的最佳实践、弥补自身不足。石化工业数字孪生应用属于典型的石油和化工行业工业软件，通过研发和建设，打破了国外同类软件在国内的垄断地位，提高了国产化自主可控水平。

3. 先进性与创新点

首次在石化行业建立了石化信息物理系统，及其体系结构、单元模式结构、单元层级结构、网络架构和计算架构，工业互联网平台上实现了石化信息物理系统的工程化实践。

以 ProMACE 为平台，首次实现了对石化工厂全方位的数字化、模型化描述。包括含物理资产描述的工厂模型、装置与设备的三维模型、工艺机理模型、数据驱动的大数据分析模型、基于专家经验的业务模型等。通过对工厂设计全过程的工程管理以及数字化交付，构建炼化生产企业数字孪生，为企业生产运行提供可视化的环境。实现了基于数字孪生的资产全生命周期管理新模式。率先实现了全

面感知、实时监控、预测预警、智能处置、协同优化、精准执行、学习提升的新一代生产营运管控的新模式。

四、追求无止境，创新不停歇

将石化行业应用实践和成果，转化成面向全流程工业的“操作系统”标准与整体解决方案，向能源化工和其它流程行业领域推广。

从支撑面向生产制造过程智能化的智能工厂、智能油气田和面向产品研发设计与科研活动过程的智能研究院，向支撑智能供应链、数字化工程和智能加油站的场景发展，最终实现流程制造行业全产业链的应用支撑。

在中国石化大型炼化企业全面推广的基础上，进军民营大型炼化企业市场，推动民营炼化企业向数字化、智能化转型，强化工业互联网平台在现代煤化工、生物化工等市场的优势地位。并借助“一带一路”国家战略，打开国际市场。